

### BAB III

#### LANDASAN TEORI

##### **3.1. High Volume Fly Ash Concrete**

Perkembangan teknologi beton yang menggunakan *fly ash* mencapai terobosan baru, yaitu tentang *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFAC) yang menggunakan kadar *fly ash* yang cukup tinggi yaitu di atas 50% sebagai material bahan penyusun beton yang mereduksi penggunaan semen dibandingkan beton normal serta memiliki nilai *f*as sekitar 0,4 (Tangaraj dan Thenmozhi, 2012).

##### **3.2. Beton**

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat kasar, agregat halus dan air, dengan atau tanpa bahan tambah yang membentuk masa padat (SNI-03-2847-2002). Beton merupakan sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya (Nawy, 1985:8).

Menurut Mulyono (2005), pada umumnya beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Komposisi bahan penyusun beton yang sebagian besar adalah agregat menyebabkan beton normal memiliki berat jenis 2300-2400 kg/m<sup>3</sup> (Dipohusodo, 1994). Beton yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume atau kembang susutnya kecil (Tjokrodimulyo, 2007).

Secara umum adapun kelebihan dan kelemahan penggunaan beton (Tjokrodimulyo, 2007):

Kelebihan beton :

1. beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan,
2. beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan,
3. beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan,
4. beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit,
5. beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga perawatannya lebih murah.

Kekurangan beton :

1. beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu diberikan baja tulangan sebagai penahan gaya teriknya,
2. beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mengatasi retakan-retakan akibat terjadinya perubahan suhu,
3. untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti,
4. beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

### 3.3. Bahan Penyusun Beton

#### 3.3.1 Semen *Portland*

Menurut (SK SNI S-04-1989, 1989:1) Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinke terutama dari silikat - silikat kalsium yang bersifat hidrolis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan . Menurut (Amri, 2005) semen pada pekerjaan beton difungsikan sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan agregat halus yang akan menghasilkan bentuk yang direncanakan serta harus memiliki sifat sebagai pengikat.

Semen *portland* adalah jenis semen yang paling umum digunakan sebagai bahan pembuatan beton. Kandungan bahan kimia dalam semen dapat dilihat dalam tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kandungan Bahan-Bahan Kimia dalam Bahan Baku Semen

Oksida	%
Kapur, CaO	60-67
Silika, SiO <sub>2</sub>	17-25
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Besi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-0,6
Magnesia, MgO	0,1-4
Sulfur, SO <sub>3</sub>	1,3
Soda/potash, Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,2-1,3

Sumber: Neville and Brooks, 1987

#### 3.3.2 Air

Air merupakan bahan dasar perekat semen dengan bahan penyusun beton lainnya. Bila dicampurkan dengan semen, air akan melakukan reaksi hidrasi membentuk pasta semen yang dapat mengikat fragmen-fragmen

bahan penyusun beton lainnya. Menurut Mulyono (2005), air digunakan dalam pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan pada pekerjaan beton.

Tjokrodinuljo (2007), memaparkan bahwa penggunaan air untuk beton setidaknya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter,
2. Tidak mengandung garam - garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/liter,
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

### **3.3.3 Agregat Halus**

Menurut SNI 02-6820-2002 mendefinisikan agregat halus merupakan agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Menurut SK SNI S-04-1989-F, sebagai bahan pengisi campuran beton, sebaiknya digunakan pasir yang memenuhi beberapa syarat sebagai berikut.

1. Harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
2. Butirnya harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh perubahan cuaca, yaitu terik matahari dan hujan.
3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 %. Apabila kadar lumpur melampaui 5 %, maka harus dicuci.

4. Tidak mengandung bahan-bahan organik karena dapat mengadakan reaksi dengan senyawa-senyawa semen *portland* sehingga mengurangi kualitas adukan betonnya.
5. Tidak mengandung pasir laut karena mengakibatkan korosi pada tulangan.
6. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8

Tabel 3. 2 Gradasi standar agregat halus (ASTM C-33)

Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36 (No.8)	80 - 100
1,18 (No.16)	50 - 85
0,6 (No. 30)	25 - 60
0,3 (No.50)	Okt-30
0,15 (No. 100)	02-Okt

Sumber : *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02 "Concrete and Aggregates". 1997.*

### 3.3.4 Agregat kasar

Agregat kasar adalah butiran mineral alami yang ukuran butirnya lebih besar dari 0,5 mm (Standar ASTM). Menurut Mulyono (2005), mendefinisikan agregat kasar adalah bantuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm.

Tabel 3. 3 Susunan besar butiran agregat kasar.

Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)
38,1	95 - 100
19,1	35 - 70
9,52	10-30
4,75	0 - 5

Sumber: *ASTM, 1991*

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar menurut Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (SK SNI S-04-1989-F) adalah sebagai berikut :

1. butir keras dan tidak berpori,
2. jumlah butir pipih dan panjang dapat dipakai jika kurang dari 20 % berat keseluruhan,
3. bersifat kekal,
4. tidak mengandung zat-zat alkali,
6. kandungan lumpur kurang dari 1 % (terhadap berat kering),
7. ukuran butir beranekaragam.

### **3.4. Bahan Tambah**

Bahan tambah atau Admixture didefinisikan dalam *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) merupakan material selain air, agregat, dan semen hidrolik yang dicampur dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung.

#### **3.4.1 Bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*)**

Penggunaan bahan tambah kimia pada beton bertujuan mengubah beberapa sifat mekanik beton. Mulyono (2005) memaparkan beberapa jenis dan definisi bahan tambah kimia sebagai berikut :

a. Tipe A "*Water-Reducing Admixtures*"

*Water-reducing admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi mengurangi penggunaan air pada pencampuran beton dengan konsentrasi tertentu.

b. Tipe B "*Retarding Admixtures*"

*Retarding admixtures* merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton (*setting time*).

c. Tipe C "*Accelerating Admixtures*"

*Accelerating admixtures* adalah bahan tambah pada beton yang berfungsi untuk mempercepat pengerasan (*setting time*) ikatan dan pengembangan kekuatan awal beton serta untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.

d. Tipe D "*Water-Reducing and Retarding Admixtures*"

*Water reducing and retarding admixtures* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi ganda, yaitu untuk mengurangi jumlah air yang digunakan pada campuran beton dan untuk menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E "*Water-Reducing and Accelerating Admixtures*"

*Water reducing and accelerating admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan air pada campuran beton dan untuk mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F "*Water-Reducing, High Range Admixtures*"

*Water reducing, high range admixtures* merupakan bahan tambah yang difungsikan untuk mengurangi jumlah air  $\pm 12\%$  dalam campuran beton.

g. Tipe G "*Water-Reducing, High Range Retarding Admixtures*"

*Water reducing, high range retarding admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah penggunaan air pada campuran beton  $\pm 12\%$  dan juga dapat digunakan untuk menghambat pengikatan beton.

### 3.4.2 *Superplasticizer*

*Superplasticizer* merupakan bahan tambah kimia yang digunakan untuk mengurangi penggunaan air, sehingga akan dapat menghasilkan adukan dengan nilai faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama. Hal ini mengakibatkan kuat tekan beton akan menjadi lebih tinggi (ASTM C494 dan British Standard 5075). Selain itu juga penggunaan *superplasticizer* untuk beton mutu tinggi secara umum sangat berhubungan dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton. Pengurangan ini tergantung pada kandungan air yang digunakan, dosis serta tipe dari *superplasticizer* yang dipakai (L.J. Parrot, 1998).

Dalam penelitian ini akan digunakan *superplasticizer* dari produk sika dengan nama dagang Sika Viscocrete-1003. Viscocrete 1003 ini merupakan bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang berfungsi



untuk meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. *Superplasticizer* ini berguna untuk mereduksi penggunaan air lebih dari 30% serta memiliki *flowability* yang sangat baik. Ada beberapa keistimewaan dari penggunaan viscocrete 1003 ini, antara lain:

- a. memiliki *flowability* yang sangat baik,
- b. sebagai bahan kimia yang dapat mereduksi penggunaan air pada beton yang akan membuat beton lebih padat, sehingga akan mempengaruhi kuat tekan yang diperoleh,
- c. memiliki sifat memadat sendiri (*self-compacting*) yang baik,
- d. dapat mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi pada beton,
- e. viscocrete 1003 ini dapat membuat udara dalam beton berkurang bahkan tidak ada udara yang masuk ke dalam beton,

Adapun spesifikasi (*technical data*) dari sika viscocrete 1003 dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut ini :

Tabel 3. 4 Data teknis sika viscocrete 1003

Bentuk	Cair
Warna	Brownish
Kerapatan relatif @ 20°C	1,06
Kandungan material kering %	30
Dosis % berat semen	0,6 - 1,6
Ph	4,5
<i>Water Soluble Chloride Content %</i>	<0,1 <i>Chloride Free</i>
<i>Equivalent Sodium Oxide as Na<sub>2</sub>O</i>	0,30

### 3.4.3 Bahan tambah mineral (*mineral additive*)

Penggunaan bahan tambah mineral pada beton dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja dari beton. Penambahan *mineral additive* ini dapat membantu dalam pengurangan pemakaian semen pada beton, mengurangi temperatur akibat reaksi hidrasi serta dapat mengurangi atau menambah tingkat kelecakan beton. Adapun bahan tambah mineral yang dimaksud adalah : *pozzollan*, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume* (Mulyono, 2003). Adapun keuntungan dari pemakaian bahan tambah mineral antara lain (Mulyono T, 2003):

- a. memperbaiki *workability* beton
- b. mengurangi panas hidrasi
- c. mengurangi biaya pekerjaan beton
- d. mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat
- e. mempertinggi daya tahan dari serangan reaksi alkali - silika
- f. menambah keawetan (durabilitas) beton
- g. meningkatkan kuat tekan beton
- h. meningkatkan usia pakai beton
- i. mengurangi penyusutan beton
- j. membuat beton lebih kedap air

### 3.5. Fly Ash

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah padat hasil pembakaran batubara yang tergolong limbah B3, karena mengandung oksida logam yang akan mengalami reaksi secara alami yang akhirnya akan mencemari lingkungan.

Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304), *fly ash* didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. *Fly ash* dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu abu terbang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara *antrasit* atau *bitominus* atau abu terbang kelas C yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis *lignite* atau *subbitumeus*. Tabel 3.5 akan menunjukkan kandungan kimia yang dibutuhkan dalam *fly ash* (ASTM C.618-95:305) :

Tabel 3. 5 Kandungan kimia pada *fly ash*

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis C
Oksida Silika ( $\text{SiO}_2$ ) + Oksida Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + Oksida Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), minimum%	70,0	50,0
Trioksida Sulfur ( $\text{SO}_3$ ), maksimum%	5,0	5,0
Kadar Air, maksimum%	3,0	3,0
Kehilangan Panas, maksimum%	6,0	6,0

Sumber: ASTM C.618-95: 305

### 3.6. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu sifat mekanis beton yang terpenting untuk menentukan kualitas mutu beton. Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (Wibawa, 2011). Kuat tekan beton dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusunnya. Jumlah air dan semen dalam beton merupakan faktor penentu utama kuat tekan yang dihasilkan beton. Suatu jumlah air dan semen dalam beton diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, dimana kelebihan air dapat meningkatkan kemampuan pekerjaan namun dapat menurunkan kekuatan dari

betonnya (Wang, C.K. dan Salmon, C.G., 1986). Kekuatan beton yang paling umum digunakan sekitar 22 kg/cm<sup>2</sup> sampai 500 kg/cm<sup>2</sup>.

Nilai kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang diberikan beban dan ditekan sampai hancur. Sedangkan menurut SNI 1974-2011, untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dari hasil pengujian dengan mesin uji diformulasikan sebagai berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan:

$f'_c$  = kuat tekan (MPa)

$P$  = beban tekan (N)

$A$  = luas penampang benda uji silinder (mm<sup>2</sup>)

### 3.7. Modulus Elastisitas Beton

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan (Murdock dan Brock, 1999). Sesuai dengan SNI-03-1726-2002 dan SNI-03-2847-2002 untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton secara teoritis di gunakan rumus–rumus sebagai berikut.

$$E_c = w_c^{1,5} (0,043) \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

$w_c$  = berat beton antara 1500-2500 kg/m<sup>3</sup>(kg/m<sup>3</sup>)

$F'_c$  = mutu beton (MPa)

$E_c$  = modulus elastisitas (MPa)

Dan untuk beton dengan berat normal yang berkisar 2320 kg/m<sup>3</sup> :

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(3.3)$$

Berdasarkan penelitian oleh Wang, C. K. and Salmon, C.G., (1986), untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton digunakan rumus :

$$E_c = \frac{0,3 \times f_{maks}}{\epsilon_p} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

$E_c$  = modulus elastisitas beton tekan (MPa)  
 $F_{maks}$  = tegangan beton maksimum (MPa)  
 $\epsilon_p$  = regangan beton

### 3.8. Daya Serap Beton

Menurut SNI 03-2914-1990, sifat beton kedap air harus memenuhi persyaratan berikut ini.

1. Beton kedap air normal bila diuji dengan cara perendaman dengan air selama 10+0,5 menit, resapan maksimum adalah 2,5% terhadap berat beton kering oven. Selama perendaman 24 jam, resapan maksimum adalah 6,5% terhadap beton ringan kering oven.
2. Beton kedap air agresif bila diuji dengan tekanan air, maka tembusnya air ke dalam beton tidak melampaui batas berikut ini.
  - a. Agresif sedang : 50 mm
  - b. Agresif kuat : 30 mm

Pada penelitian ini digunakan silinder diameter 70 mm dan tinggi 140 mm untuk melakukan pengujian penyerapan air. Adapun rumus yang dapat digunakan untuk menghitung serapan air :

$$S = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

- $W_1$  = berat beton kering oven (kg)  
 $W_2$  = berat beton kering permukaan (SSD) (kg)  
 $S$  = daya serap air (%)

### 3.9. Konsistensi adukan beton

Pengujian *slump* merukan salah satu pengetesan sederhana untuk mengetahui *workability* beton sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran.

Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel

3.4 sebagai berikut :

Tabel 3. 6 Nilai *Slump* Beton Segar

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding , plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12.5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur bawah tanah	9	2.5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7.5
Perkerasan jalan	7.5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7.5	2.5

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007.